Aus der Universitätsklinik und Poliklinik
für Mund-, Zahn- und Kieferkrankheiten, Bonn.
Direktor: Professor Dr. med. Proell.

Der Einfluß der Temperung
auf die
Eigenschaften des Amalgams.

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität zu Bonn.

Vorgelegt am 9. November 1936
von
Adolf Fasen
Zahnarzt
aus Hillesheim.

BONN 1937.
Anton Brand, Bonn.

Gedruckt
mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Bonn.

Referent: Prof. Dr. Proell.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Die Frage, Amalgame in der konservierenden Zahnheilkunde zu verwenden, ist heute noch viel umstritten. Und doch kann der Zahnarzt, besonders wenn er zu Kassen zugelassen ist, wegen der Billigkeit und schnellen Verarbeitung des Materials nicht auf seine Anwendung verzichten.

Diese beiden Vorzüge führten das Amalgam schon früh in die Reihe der Zahnfüllungsmittel ein. Zum ersten Male haben nach Black Quecksilber um die Wende des 18. Jahrhunderts davon Gebrauch gemacht, nachdem vorher die Ausstopfung kariöser Zähne mit Blei (daher der Name Plombe) sich als unvollkommen und gesundheitsgefährdend erwiesen hatte. Um 1840 kam die Herstellung des Amalgams aus Feilung von Silbermünzen auf. Kurze Zeit später wandte man Silberzinnlegierungen an.

Schon damals begann der Kampf um die Berechtigung des Amalgams, der in Amerika, dem Lande der Goldfüllung, seinen Anfang nahm, und auf zahnärztlichen Versammlungen in England wurde die Amalgamfrage viel umstritten. In Deutschland wurde in damaliger Zeit das Amalgam viel verwandt, aber auch stark bekämpft.

Man begann die Eigenschaften der verschiedenen Amalgame zu ergründen. Der Engländer John Tomes, Thomas Fletscher, Witzel u. a. m. stellten Versuche an, die aber wegen der vielen unterlaufenen Fehlern zu keinem befriedigenden Ergebnis führten. Erst die Prüfungen Blacks erzielten brauchbare Resultate. Er untersuchte die Amalgame auf Erhärtung, Kontraktion bes. Expansion, Druckfestigkeit und Fließen (d. h. Verkürzung des Materials unter bestimmtem Druck in gleicher Zeit). Er fußte auf der Tatsache, daß die verschiedene Mischung von Silber, Zinn und Quecksilber die Eigenschaften des Amalgams beeinfluße. Er war auch der

Erste, der der „Alterung“ der Legierung eine besondere Bedeutung zuschrieb. Bei den meisten Amalgamen stellte Black zunächst Kontraktion, dann Expansion fest, eine Eigenschaft, die er dem Silberzinngehalt zuschrieb, während sie später Fenschel auf den verschiedenen Quecksilbergehalt zurückführt. Nach Fenschel weisen alle Amalgame mit über 40% Hg Expansion auf und keine Kontraktion, unter 40% Hg-Gehalt Kontraktion und keine Expansion. Die deutschen Forscher Tamman und Dahl beobachteten bei frischem Material eine Ausdehnung und bei gealtertem eine Zusammenziehung. Genau wie Black, Tamman und Dahl mißt Rosenhain dem Alterungsprozeß besondere Bedeutung bei. Bezüglich der Erhärtung steht Rosenhain wie auch ältere Forscher auf dem Standpunkt, daß Hg mit Silber zunächst eine chemische Verbinduug eingeht: Ag 2 Hg 4 und daß dann weitere noch flüssige Bestandteile mit den schon festen sich zu Ag 3 Hg 4 verbinden. Nach Arbeiten im metallographischen Laboratorium der Scheid'schen Affinerie in Wien besteht bei einer Mischung von geschmolzenem Silber und geringen Mengen Zinn eine feste Lösung, d. h. ein Konglomerat von Mischkristallen. Wird der Zinngehalt auf 26,85% erhöht, so erhält man die feste Verbindung von Silber und Zinn Ag 3 Sn. Bei einem noch höheren Zinngehalt wurden neben den Verbindungskristallen auch noch reine Zinnkristalle beobachtet, deren Menge mit dem gesteigerten Zinnzusatz Hand in Hand geht. Dieses Metall mit Quecksilber gemischt, gibt ein plastisches Material, das schlecht erhärtet und für eine Zahnfüllung nicht in Frage kommt.

Hier erwähne ich die Takacs'sche Arbeit in der Z. R. 1929 Nr. 5 S. 188 in der er sagt:

„Wir wissen, daß der Hauptbestandteil der Amalgame Silber (66—69%), Zinn (23—27%), Kupfer (1—2%) ist. Wenn diese Mischung gut geschmolzen ist, so, daß wir in jedem Teil des Amalgamblocks dieses Verhältnis vorfinden, so sprechen wir von einer hochgradigen Legierung, (high grad alloy).

Wenn dieses Verhältnis sich ändert, so ist das Material schlecht. Wenn z. B. zuviel Zinn vorhanden ist, so amalgamisiert sich das Silber schwer, verzögert das Erhärten der Mischung und bildet ein Amalgam aus dem das überschüssige Hg und Zinn nicht entfernbar ist.“ Demnach wäre ein Zinnzusatz von 27 % am günstigsten.

Für Silber gibt Black 65—70 % an. Hahn gibt in der D. Z. W. 1935 Nr. 33 54—60° als besten Silbergehalt an. Die darunter liegenden Legierungen verwirft er wegen zu starker Korrosion, die höheren erhärten ihm zu schnell. Um die Festigkeit zu erhöhen, setzt man 4 % Kupfer zu. 1 % Zink genügt, um die Farbe des Materials zu erhalten, ja zu verbessern.

Das früher viel verwandte und sehr bekämpfte Kupferamalgam findet heute in der konservierenden Zahnheilkunde fast keine Verwendung mehr. Einige Praktiker gebrauchen es noch bei kariösen Milchzähnen, da es eine keimfreie Randzone bildet und sie eine Gesundheitsgefährdung wegen des nur kurzen Verbleibens im Munde nicht befürchten. Gerade gegen dieses Amalgam richteten sich vor einigen Jahren die Angriffe Stock's, der diesen Füllungen eine gesundheitsschädigende Wirkung zuschob. Witzel gibt in der Einleitung seines Werkes: „Das Füllen der Zähne mit Amalgam“ die Gründe an, weshalb die Gegner das Amalgam bekämpfen.

1. Die Amalgame kontrahieren nach dem Erhärten und geben so nur einen mangelhaften Verschluß der Zahnhöhle.
2. Die Amalgamfüllungen verfärben sich selbst auf der Oberfläche und ebenso die mit ihnen gefüllten Zähne.
3. Infolge ihres hohen Gehaltes an Quecksilber können durch die vielseitige Verwendung der Amalgamfüllungen chronische Quecksilbervergiftungen herbeigeführt werden.

Der Stock'sche Angriff auf Amalgamfüllungen führte zu erneuten Untersuchungen von Patienten, die unter dem Ver-

dacht der Quecksilberschädigung standen. Und tatsächlich konnten bei Kupferamalgamfüllungen Fälle von Hg-Intoxikation festgestellt werden. Prof. Dieck schreibt in der D. Monatsschrift für Z. 45 H. 19:

„Unter gewissen Verhältnissen erlangen Kupferfüllungen keine ausreichende Härte, weisen beträchtlichen Oberflächenschwund auf, sind weich und quecksilberig glänzend. Die Ursache hierfür kann in unsachgemäßer Herstellung der Füllmasse mit großem Hg-Überschuß liegen, sodaß eine völlige Bindung unmöglich war, oder es ist eine nachträgliche Auflösung durch Mundflüssigkeit erfolgt, derart, daß Kupfer in Form eines Salzes auf- und ausgelöst wurde und das restierende Hg rein oder in ganz weicher Amalgamschicht an der Oberfläche zurückblieb."

Auch Prof. Fleischmann gibt in der D. Z. W. Untersuchungen bekannt. Er fand bei 22 Patienten mit Kupferfüllungen 81,5 % positive Resultate in den Ausscheidungen. Die Ausführungen dürften genügen, um das Kupferamalgam aus der Zahnheilkunde zu bannen.

Ich komme auf die Edelamalgame zurück, unter denen die Silberzinnlegierungen im Vordergrund stehen. Unter diesen werden in Deutschland auch die Legierungen mit 50 % Silbergehalt angewandt.

Ich habe meine Versuche mit dem 67 % Jotalloy in den Jotawerken in Düsseldorf durchgeführt. Dieses Amalgam (Feilung) gebraucht zu seiner Abbindung etwas mehr Quecksilber als die 50prozentigen Präparate, da der Quecksilberzusatz bei vermehrtem Silbergehalt gesteigert werden muß. Damit bietet diese Jotalegierung keineswegs Grund, eine Hgschädigung zu befürchten. Denn das Quecksilber geht eine Bindung mit Ag Sn ein, das bei größerem Silbergehalt in verstärktem Maße vorhanden ist.

Meine Versuche gingen nun dahin, daß ich die frische Spanung (d. h. das zu Feilung, Folien oder Nadeln verarbeitete Material) „temperte".

Was heißt Tempern? Unter diesem Ausdruck versteht man das künstliche Altern der Legierung. Aus dem Schmelzofen wird das flüssige Metall in Formen gegossen, wo es zu runden Stangen erstarrt. Durch die schnelle Abkühlung können sich die Moleküle nicht richten und liegen wahllos durcheinander. Die nun folgende Spanung der Barren führt zu einer weiteren Auseinanderreißung der Moleküle.

Jetzt wird der Alterungsprozeß eingeleitet. Ich habe 12 verschiedene Temperungen durchgeführt, und zwar bei 60°, 120° und 140°. Bei 60° habe ich das Material 1, 2 und 3 Stunden in geschlossenen Behältern getempert. Außerdem streute ich noch Feilung aus und gewährte ihr bei dieser Temperatur dreistündigen völligen Luftzutritt, um eventuelle Oxydationseinflüsse festzustellen. Genau so verfuhr ich bei 120° und 140°, nur setzte ich die Temperungszeit auf $^1/_2$, 1 und $1^1/_2$ Stunden herab. Die Temperung bei 60° führte ich durch in der Jotaprüfmaschine, die, von 3 elektrischen Glühbirnen geheizt, durch eine den Jotawerken patentierte Einrichtung auf der gewünschten Temperatur gehalten werden kann. Meine Versuche bei 120° machte ich im großen Temperungsofen des Werkes, dessen Temperatur durch Öffnen von zwei Regulierungsklappen konstant blieb. Um 140° zu erreichen mußte ich schon einen Schmelzofen benutzen, der von 4 großen und 4 kleinen elektrischen Glühstätten geheizt wurde und eine Temperatur von 1160° erreichte. Ein Teil dieser Wärme wurde durch Klappen nach oben in eine Art Brutschrank geleitet. In diesem war es nicht so einfach, die gleiche Temperatur zu halten. Eine dauernde Beobachtung des Ofens war erforderlich, um das Thermometer nicht über 140° steigen zu lassen.

Mit ungetemperter und 12 verschieden getemperten Feilungen stellte ich nun meine Versuche an.

Zum Anreiben des Amalgams verwandte ich die von den Jotawerken in den Handel gebrachte Ampulle. Diese besteht aus einem oben offenen Gummiröhrchen, in dessen unteren kolben-

förmigen Erweiterung sich die Feilung befindet. Im oberen Teil der Röhre ist das Quecksilber, das durch eine Aluminiumklemme hermetisch von der Feilung getrennt ist. Die obere Öffnung ist durch eine Aluminiumklammer verschlossen. Zum Anreiben bringe ich Quecksilber und Feilung durch Entfernen der trennenden Klemme zusammen und reibe die Ampulle etwa 2 Minuten lang ganz lose zwischen Daumen und Zeigefinger. Dann löse ich die obere Klammer und kann die fertige Amalgampaste entnehmen. Diese Art der Anreibung kam mir bei meinen zahlreichen Versuchen sehr zu statten. Ich brauchte keine Hg-Schädigung zu befürchten, ein Vorteil, der auch für den Praktiker, wie für die Helferin von Bedeutung ist.

Zunächst gilt es nun die richtige Quecksilberdosierung zu finden, die ich nach Grad und Zeit der Temperung ausprobierte. Nachstehende Tabelle zeigt deutlich den abnehmenden Quecksilberverbrauch von ungetemperten bis 100° getempertem Material, darüber hinaus ist keine meßbare Abnahme festzustellen.

Temperung (Grad)	0	60	60	60	60 L+	120	120	120	120 L+	140	140	140	140 L+
Zeit (Stunden)	0	1	2	3	3	½	1	1½	1½	½	1	1½	1½
Hg (Gramm)	12	9	8	7,5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Feilung (Gramm)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

+L bedeutet Temperung unter vollem Luftzutritt.

Das normale 2stündig bei 100° getemperte Jotalloy braucht auf 6 gr Feilung 6,8 gr Quecksilber.

Alle Temperungen habe ich dann in einem Apparat, der nach Prof. Dieck im Jotawerk angefertigt wurde, auf ihre Erhärtungsgeschwindigkeit geprüft. Im Prinzip besteht der Apparat aus einer senkrecht geführten Stange, an deren unterem Ende eine Stahlnadel angebracht ist, die mit 2 kg Beastung in das Amalgam eindringt. Ein zweiarmiger Hebel,

auf dessem kurzem Lastarm die mit 2 kg beschwerte Stange drückt, gibt mir durch den als Zeiger auslaufenden Kraftarm auf einer Skala die Werte an. Je nach der Erhärtung des Amalgams wird die Nadel eindringen.

Die Erhärtungsgeschwindigkeit ist für den Zahnarzt von Bedeutung. Ein Amalgam soll nicht zu schnell hart werden, damit der Praktiker das Material lege artis einführen kann. Es darf auch nicht zu lange weich bleiben, um dem Patienten bald die Möglichkeit des festen Kauens wieder zu geben.

Temperung (Grad)	0	60	60	60	60	120	120	120	120	140	140	140	140
Temperung Zeit (Stunde)	0	1	2	3	L+	½	1	1½	L+	½	1	1½	L+
Erhärtung 5 Minuten	0,35	0,6	0,65	0,8	1,0	2,1	2,4	2,4	2,7	4,6	3,8	3,8	4,8
10 Minuten	0,20	0,4	0,5	0,7	0,8	1,55	1,7	1,8	2,0	2,4	2,7	2,9	3,0
15 Minuten	0,16	0,35	0,45	0,5	0,6	1,2	1,1	1,2	1,5	1,6	1,6	2,1	2,2
30 Minuten	0,1	0,25	0,25	0,3	0,35	0,4	0,8	0,85	0,9	1,1	0,5	1,1	1,7
45 Minuten	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,35	0,55	0,4
60 Minuten	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,25	0,4	0,3
24 Stunden	0,1	0,05	0,025	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

+L bedeutet Temperung unter vollem Luftzutritt.

Die normalen Jotalloywerte lassen sich in die Skala zwischen 60° und 120° einreihen.

5 Minuten	10 Minuten	15 Minuten	30 Minuten	45 Minuten	60 Minuten	24 Stunden
2,0	1,03	1,0	0,4	0,25	0,15	0

Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, erhärtet das ungetemperte Amalgam sehr schnell, und zwar steigert sich die Erhärtungsgeschwindigkeit mit der Erhöhung der Alterungstemperatur.

Ich unterscheide beim Härtungsprozeß 3 Abbindungsphasen, von denen ich die erste dann habe, solange das Material noch plastisch und modellierfähig ist. Dieses Stadium ist die Zeit zwischen angeriebenem Amalgam und der Fertigstellung der Füllung und beträgt etwa 15 Minuten. Das Amalgam darf also in dieser Zeitspanne nicht zu schnell erhärten, wie die weniger getemperten Legierungen (ungetempertes, bei 60° einstündig und 60° zweistündig getempertes Amalgam). Die Erhärtung darf auch nicht zu langsam vor sich gehen wie die höher getemperten Legierungen (bei 120° einstündig und zweistündig und unter Luftzutritt getempertes und alle 140° getemperten Amalgame). Die günstigsten Abbindungen der ersten Phase liegen bei 60° unter Luftzutritt, 100° zweistündig (Jotalloy) und 120° $^1/_2$stündig getempertem Material.

Wie steht es mit der zweiten Phase, der Zeit zwischen fertig gelegter Füllung und der Beanspruchung durch den Kaudruck? Die fertige Füllung muß schnell erhärten. Die Übertemperten bleiben zu lange weich, selbst wenn sie bei 120° $^1/_2$ Stunde getempert wurden. Die Untertemperten kommen in Fortfall, weil sie in der ersten Phase zu schnell hart werden. Die besten Ergebnisse liegen bei 60° unter Oxydation unter bei 100° (Jotalloy).

Die dritte Phase, praktisch weniger von Bedeutung für die Erhärtungsgeschwindigkeit, ist, wenn der Patient die Füllung in den Kauakt einschließen kann bis zur endgültigen Erhärtung, die nach 7—8 Tagen erreicht ist.

Erwähnenswert im Kapitel der Erhärtungsgeschwindigkeit ist noch die stärkere Alterung der Amalgame, die ganz dem Luftzutritt zugänglich sind. Die Erhärtungsgeschwindigkeit ist bei ihnen erhöht.

Ich gehe über zu meinen Versuchen über die verschiedene Kantenfestigkeit. Füllungen, die nicht ganz von Zahnsubstanz eingefaßt sind, werden auf Spaltung beansprucht. Hierzu sind außer der zentralen alle Füllungen an der Kaufläche zu rechnen. Um die Amalgame zu erproben, mußte ich auch diese Versuche durchführen. Der Apparat, den ich dazu verwandte, war hergestellt von der Firma Tarnogrocki in Essen. Ein Gewicht hängt im Sinne des Uhrpendels bei 0 kg senkrecht an einem Arm. Bringt man diesen Arm aus seiner senkrechten Stellung, so steigert sich damit proportional der Druck des Gewichts, das das Bestreben hat in die senkrechte Lage zurückzufallen. Der Druck des Gewichtes wird auf einen Stahlkegel übertragen und ist gleichzeitig auf einer Skala abzulesen. Dieser Kegel drückt auf die Mitte meiner in Formen hergestellten Amalgamzylinder, die bei zu starkem Druck gespalten werden.

Meine Tabelle ergibt die geringste Spaltfestigkeit bei vollkommen ungetempertem Material. Die höchste Ziffer steht bei dem dreistündig auf 60° getemperten Amalgam, das jedoch für den Praktiker nicht verwendbar ist, da seine Erhärtungsgeschwindigkeit zu groß ist. Es würde dem Zahnarzt die Zeit fehlen, eine Füllung ordnungsgemäß zu legen. Den zweitbesten Spaltfestigkeitswert weist das bei 100° zweistündig getemperte Amalgam auf, wie es in der Jotaampulle (Jotalloy) in den Handel kommt.

Temperung (Grad)	0	60	60	60	60	120	120	120	120	140	140	140	140
Temperung Zeit (Stunden)	0	1	2	3	L+	½	1	1½	L+	½	1	1½	L±
Nach der 1. Stunde	6	13	17,5	36,5	16	11	10	9	19	12	3,5	3	4
2. Stunde	6	22	36	42,5	26,5	16	18,5	27	12	18	12,5	6	13
3. Stunde	15	38	46	55,5	30	24	34,5	35	21	22	17	16	13
4. Stunde	13	46	55,5	56	37	40	45	70	26,5	32	20	16	22
Nach 3 Tagen	8	66	72	84,5	69,5	69	71,5	77,5	62,5	72	65	55,5	56,3

Die Skala der Jotalloywerte ergibt nach

1 Std.	2 Std.	3 Std.	4 Std.	3 Tagen
20,3	25,0	38,0	43,1	63,75

Kantenfestigkeit und Härte des Materials spielt für die Spaltfestigkeitsprüfung eine ausschlaggebende Rolle. Es sind auch hier Dauer und Höhe der Temperung zu beachten. Und zwar ist es nicht gleich ein Material ½ Stunde auf 140° zu tempern und ein anderes 3 Stunden auf 60°. Bei 60° Temperung und verschiedener Dauer von 1, 2 und 3 Stunden ist eine aufsteigende Kurve zu verzeichnen. Man sollte doch eigentlich annehmen, daß entsprechend der längeren Erhärtungszeit bei längerer Temperung auch die Spaltfestigkeit abnehmen würde, aber man muß bedenken, daß bei 60° der Alterungsprozeß soweit vorgeschritten ist, daß erstens die Güte des Amalgams verbessert ist, und in zweiter Linie bei viel längerer Temperung (z. B. 12—14 Stunden) eine gesteigerte Erhärtungsdauer, die ja in der ersten Stunde eine geringe Spaltfestigkeit bewirkt, in Erscheinung tritt. Bei der Temperung von 120° ist dieses Verhalten sehr deutlich. Nach einer Stunde beobachtete ich einen Abfall in der Kantenfestigkeit bei immer gesteigerter

Temperungsdauer. Nach 2 Stunden war er wieder aufgehoben und zeigte mir von da an bei erhöhten Temperungszeiten immer größere Differenzen zu Gunsten der Spaltfestigkeit. Das Gesamtbild der Tabelle bei 140° Temperung gibt ein ganz anderes Bild. Ich habe hier offenbar die zulässige Temperung überschritten. Das Material zeigt große Verschlechterung gegenüber der bei 120° getemperten Feilung. Während bei einhalbstündiger Temperung noch einigermaßen brauchbare Werte bezüglich der Spaltfestigkeit zu erzielen waren, verzeichnete ich bei noch längerer Temperung eine immer größer werdende Verschlechterung. Bei 140° ist scheinbar eine allzu starke Alterung des Amalgams eingetreten, ein Zustand, den wir auch bei natürlicher Alterung nach 3 Jahren feststellen können. Die gleiche Beobachtung kann man bei einer Legierung machen, die gut getempert, aber zu lange gelagert ist.

Interessant sind auch die Temperungen unter freiem Luftzutritt. Hier bemerkte ich, entgegen der Erhärtungsgeschwindigkeit abfallende Werte gegenüber den Amalgamen, die in geschlossenen Behältern getempert wurden. Jedenfalls ist diese Verschlechterung auf eine Oxydation der Feilungsoberfläche zurückzuführen, die eine Herabsetzung der Werte bedingt.

Um die Druckfestigkeit zu erproben, preßte ich das plastische Amalgam unter einem Druck von 12 kg und ließ es so erhärten. Diese Methode gab mir die Gewähr vollkommen gleicher Abbindung, gleicher Richtung des Druckes und gleichen Stopfdruckes. Der Druck war (von unten wie oben) an allen Seiten derselbe. Auf diese Art konnte eventuell überschüssiges Quecksilber ausgedrückt werden und die Quecksilberdosierung blieb bei jedem zu untersuchenden Amalgam die gleiche. Nach 15 Minuten wurde der Amalgamzylinder, der sich gebildet hatte und eine Höhe und einen Durchmesser von 4 : 4 hatte, außer Druck gesetzt. Nach 24 Stunden wurde der Zylinder in der schon früher beschriebenen Tarnogrocki-schen Maschine auf seinen Widerstand gegen die Druck-

wirkung untersucht. Bei diesen Versuchen ist das Amalgam in der Maschine statt dem erwähnten Kegel dem Druck von zwei parallelen Flächen ausgesetzt. Der beste Wert liegt bei Jottalloy. Die Maschine, die einen Höchstdruck von 500 kg entwickelt, konnte den Zylinder nicht sprengen.

Temperung (Grad)	0	60	60	60	60	120	120	120	120	140	140	140	140
Temperung Zeit (Stunden)	0	1	2	3	L+	½	1	1½	L+	½	1	1½	L+
	51	270	338	380	240	250	353	397	343	396	330	265	310

+L bedeutet Temperung unter vollem Luftzutritt.

Die Amalgame jeder anderen Temperung konnten dem Druck nicht standhalten und zersprangen bei einem Gewicht, das zwar bedeutend schwerer ist als das der Spaltfestigkeit, das ihm jedoch proportional ist. Der grundlegende Unterschied besteht in dem verschiedenen Angriffspunkt, sei es der Kegel bei der Spaltfestigkeitsprobe, sei es die der Basis parallele Fläche bei den Versuchen auf Druckfestigkeit. Würde man bei der Spaltfestigkeit statt des gradwandigen Kegels einen parabolischen nach Art eines Geschosses wählen, so erhielte man zwar andere Werte, die allerdings auch denen des gradwandigen proportional wären. Aufzuwendender Druck und Keilwirkung ständen in gleichem Verhältnis, da die Keilwirkung geringer, die Druckwirkung aber größer wäre. Versuche dieser Art wären zwischen Spaltfestigkeit und Druckfestigkeit einzureihen.

Bei beiden Proben auf Kantenfestigkeit ergaben die Versuche auf Druckwiderstand abfallende Werte des Amalgams, das bei der Temperung dem vollen Luftzutritt zugänglich war, bei dem nach meiner Ansicht eine Oxydation stattgefunden hat.

Zur Probe auf Biegefestigkeit verwandte ich Jotalloy (100°) und ungetemperte Feilung. Zu diesem Versuch stopfte ich Amalgamstäbchen von 2 cm Länge, 4 mm Breite und

5 mm Höhe. Jedes Stäbchen wurde auf 2 parallele und 2 cm voneinander liegenden Schneiden gelagert, während in der Mitte parallel zu den Auflagen eine Schneide von oben drückte, deren Gewicht bis zum Bruch des Bälckchen gesteigert werden konnte und auf einer Skala abzulesen war.

Bei diesem Versuch wird die obere Fläche des Stäbchens komprimiert, während die untere Fläche auf Zug beansprucht wird. Die horizontale mittlere Ebene des Bälckchens erfährt dabei keine Veränderung. Der Bruch beginnt immer auf der Zugseite.

Die Umrechnung auf qmm erfolgt nach folgender Formel

$$Kb = \frac{P.\ S.\ 6}{s.\ l_2.\ 4}$$

P = Bruch, S = Länge, s = Breite, l = Höhe,
Kb = Biegefestigkeit auf 1 qmm.

Nach Einsetzen der Werte ergibt die Formel, wenn P für ungetempertes Amalgam 3 kg und für Jotalloy 25 kg beträgt:

$$Kb = \frac{3.\ 20\ .\ 6}{4.\ 25\ .\ 4} =$$

0,9 kg pro qmm in der äußersten Faser des ungetemperten Amalgams für Zugbeanspruchung.

Es ist dies ein ungünstiges Resultat gegenüber 100 gradig getempertem Amalgam, das erst bei 25 kg Belastung brach.

Setze ich den Wert in die Formel ein,

$$Kb = \frac{25\ .\ 20\ .\ 6}{4\ .\ 25\ .\ 4}$$

so erhalte ich eine Zugbeanspruchung von 15 kg auf 1 qmm in äußerster Faser des Bälckchens.

Die Zahlen geben mir einen deutlichen Aufschluß über die sehr geringe Widerstandsfähigkeit des ungetemperten

Amalgams und die bedeutend größere Biegefestigkeit des Jotalloy.

Zum Nachweis der Volumenveränderung der verschiedenen Temperungen war es leider nicht möglich den auf das genaueste arbeitenden Orthotest der Fa. Zeiss-Jena zu bekommen. Ich habe deshalb die Eosinprobe durchgeführt, ein Versuch, der mir zwar keine Zahlen angibt, der mir aber sichtbare Beweise der Volumenveränderung gab. Der Versuch bestand darin, daß ich ein beiderseitig offenes Glasröhrchen mit der unteren Öffnung in Gips stellte, sodaß der Gips in das Röhrchen eindrang, aber auch gleichzeitig als Sockel diente. Auf den abgebundenen Gips stopfte ich in das Röhrchen Amalgam etwa 5 mm hoch. Dann füllte ich das Gläschen mit Eosin auf.

Beim ungetemperten Amalgam beobachtete ich zunächst am Rande des Röhrchens ein etwa 1 mm tiefes Eindringen des Eosins, das auf eine schwache Kontraktion in der ersten Viertelstunde schließen ließ. Nach etwa 4 Stunden platzte das Glas, es war also eine starke Expansion erfolgt.

Der Versuch mit dem 100° getemperten Material (Jotalloy) zeigte ein etwa $^1/_3$ mm tiefes Eindringen des Eosins zwischen Glas und Amalgam und dann keine Veränderung mehr, ein Zeichen, daß das Material sich in den ersten Minuten kontrahierte, dann aber sein nrsprüngliches Volumen wieder einnahm.

Amalgam, das bei 140° $1^1/_2$ Stunde getempert war, ließ das Eosin langsam am Rande eindringen und zwar bis zur Tiefe, sodaß nach 2 Stunden eine Rotfärbung des Gipses erfolgte.

Es wäre jetzt noch die Frage zu klären, ob die Volumenveränderung von der Alterung selbst oder von dem damit bedingten Quecksilbergehalt abhängig ist. Der Zeiss'sche Orthotest hätte mir hierüber Aufschluß gegeben.

Wegen der vielumstrittenen Quecksilberschädigung der Amalgame und der verschiedenen Dosierungen, habe ich auch die Hg-Ausscheidung geprüft. Dazu legte ich das Material

abgewogen in den Brutschrank und setzte es 2 Stunden einer Temperatur von 35°—40° aus.

0,6 gr Jotalloy, das wegen des 67 % Silbergehaltes 0,68 gr Hg zur richtigen Amalgamierung benötigt, hatte nach den 2 Stunden noch das gleiche Gewicht, schied also kein Quecksilber aus.

Amalgam, das bei 60° 3 Stunden getempert war, gab unter denselben Bedingungen von 0,75 gr Hg auf 0,6 gr Feilung 1,4 mgr ab. Bei 60° einstündig getempertem, wie bei ungetempertem Amalgam war eine Quecksilberabscheidung sogar sichtbar in Form von Hg-Tropfen, die $^1/_2$ gr und 1 gr betrugen.

Ich habe diese Versuche bei 120° und 140° Temperung nicht durchgeführt, weil ich bei der geringen Hg-Aufnahme doch mit einem negativem Ergebnis rechnete.

Wenn wir bedenken, daß ungünstige Umstände im Munde, wie schmieriger Zahnbelag, Einführung von Chemikalien, verschiedene Metalle, die ein elektrisches Feld erzeugen ein Verfärben einer Füllung hervorrufen, so ist ein Versuch in dieser Hinsicht auch angebracht. Zu diesem Zweck legte ich ungetempertes wie 100° getempertes Amalgam in Schwefelammon. Es trat in beiden Fällen eine Verfärbung ein. Während 100° getempertes Material erst nach Tagen eine allmählige Schwarzfärbung aufwies, wurde das ungetemperte schon nach einigen Stunden pechschwarz.

Es ist nun die Frage offen, ob nicht wieder der verschiedene Hg-Gehalt mit in Erwägung zu ziehen ist. Nach Fenchel „geht das Amalgam schwerer eine Verbindung ein mit Schwefelwasserstoff, organischen Säuren und anderen in der großen Retorte des Mundes vorhandenen Stoffen als das Metall oder Hg allein, aus dem es sich zusammensetzt". Da das Ungetemperte fast die Hälfte mehr Hg aufnimmt als Getempertes und ich bei dem nicht- bzw. wenig gealtertem Amalgam eine deutliche Quecksilberabscheidung bei Mundtemperatur feststellte, könnte man die Fenchel'sche Ansicht hiermit erhärten.

Aber zwei Versuche, die ich noch anschließend durchführte kann ich mit der Fenchel'schen Feststellung nicht in Einklang bringen. 120° einstündig und 140° einundeinhalbstündig getemperte Amalgame, die mit der gleichen Menge Quecksilber angerührt waren wie Jotalloy, haben mich eines anderen belehrt. Die 120 gradige Alterung wies eine noch langsamere Verfärbung auf als 100° getempertes Amalgam. Bei dem mit 140° getempertem Material, das, wie gesagt, denselben Hg-Zusatz hatte, war eine Verfärbung nicht zu beobachten.

Die beiden letzten Versuche sprechen dafür, daß nicht die gesteigerte Hg-Dosierung, sondern der erhöhte Alterungsprozeß einen ausschlaggebenden Einfluß auf das Verfärben der Füllungen haben.

Was Tempern heißt, habe ich in der Arbeit schon erwähnt. Welche Veränderung aber der künstliche Alterungsprozeß im Amalgam selbst hervorruft, scheint noch ungeklärt. Black, der früh auf den Alterungsprozeß und seine günstige Einwirkung auf die Amalgame hinwies, konnte für den Vorgang keine Erklärung abgeben. Er bewahrte die Spanung längere Zeit auf, setzte sie der Sonne aus oder kochte sie. Weiter stellte er fest, daß Legierungsbarren keinen Alterungsprozeß durchmachen, sondern nur die Spanung.

Er sagt (Stern-Rainer):

„Durch Feilung wird die Legierung gehärtet, durch Erwärmung wird die Härtung aufgehoben und dadurch die Affinität zum Quecksilber verändert."

Man kann sich die Alterung folgendermaßen vorstellen: Durch das plötzliche Abkühlen der flüssigen Legierung sind die Moleküle wirr durcheinander gelagert. Die folgende Feilung kann sie nur noch mehr auseinanderbringen. Wird nun die Spanung getempert — wir wissen, daß die Moleküle sich bei der Erwärmung schneller und stärker bewegen — so beginnen sich die Moleküle in ihre natürliche Lage zueinander zu stellen. Ist der Temperungsgrad zu hoch, so ist die Mole-

kularbewegung zu rasch und die Moleküle finden doch nicht ihre richtige Stellung.

Da die natürliche Alterung erst nach 3 Jahren abgeschlossen ist, greift man zur Temperung, der künstlichen Alterung, die in einigen Stunden die Richtigstellung der Moleküle bewirkt.

Wenn ich die Ergebnisse meiner Versuche zusammenfasse, komme ich zu dem Resultat, daß für die Jotalegierung, die meinen Prüfungen zu Grunde lag, die günstigste Alterung von allen durchgeführten Temperungen bei 100° liegt.

Die Erhärtungsgeschwindigkeit ist nicht zu schnell, wie bei geringerer Temperung und nicht zu langsam wie bei höher getemperten Legierungen.

Die besten Werte für Kantenfestigkeit stellte ich bei 60° dreistündiger Alterung fest. Da das Amalgam zu schnell erhärtet, ist es für den Praktiker nicht brauchbar. Das Zweitbeste ist das Jotalloy. Bei 140° ist eine Verschlechterung zu verzeichnen.

Die beste Druckfestigkeit ist bei 100°, und zwar hält ein Amalgamzylinder von 4 cm Durchmesser und Höhe über 500 kg Druck aus, das sind umgerechnet auf 1 cm über 4000 kg. Die Zahlen sämtlicher anderer Temperungen liegen weit unter 4000 kg/cm.

Die Biegefestigkeit für ungetempertes und 100° getempertes Amalgam spricht zweifellos für die Normaltemperung. Die Werte sind für ungetempertes 90 kg/ccm und für Jotalloy 1500 kg/ccm.

Die Eosinprobe entscheidet sich auch zugunsten der Jotalloytemperung. Zu niedrige Temperung zeigt zu starke Expansion, zu hohe Temperung zu starke Kontraktion.

Die Quecksilberabscheidung nimmt mit steigender Temperung ab und ist bei 100° nicht mehr festzustellen.

Die Farbbeständigkeit nimmt mit steigender Alterung zu, ist allerdings bei 100° noch nicht vollkommen wie bei 140°, welches ja in der Praxis keine Anwendung finden kann.

Jetzt sei noch etwas gesagt über die Feilung, der ich vollen Luftzutritt gewährte. Die Quecksilberaufnahme war schon bei 60° geringer als bei der 100gradigen Normaltemperung. Kanten- und Druckfestigkeit fielen auch ab gegen die Temperungen unter Luftabschluß, während die Erhärtungsgeschwindigkeit immer steigende Werte aufwies.

Die breite Ausstreuung der Feilung, die jedes Spänchen der Luft zugänglich machte, muß wohl zu einer Oxydation jedes einzelnen Körnchens geführt haben, während bei den anderen Temperungen, bei denen die Spänchen alle zusammengelagert waren, nur die oberste Oberflächenschicht oxydieren konnte. Die Erhärtungsgeschwindigkeit wurde von der Oxydierung nicht beeinflußt und zeigte ebenso wie die anderen Temperungen eine Verlangsamung der Erhärtung, während die Druck- und Kantenfestigkeit schlechtere Werte zeigten. Gleiche Farbbeständigkeit und gleiche Quecksilberaufnahme der luftzugänglichen Temperungen bei 60°, 120° und 140° sind dadurch zu erklären, daß es ganz gleich ist, wie dick die Oxydationsschicht ist. Sie ist bei 60° noch dünn und wird mit steigender Temperung an Stärke zunehmen. Alle oxydierten Teilchen amalgamieren gleich schlecht. Diese Temperungen unter Luftzutritt sind wegen der Verschlechterung der Amalgamqualität abzulehnen, und es ist bei der Temperung darauf zu achten, daß möglichst jede Oxydation der Spanung von vorneherein vermieden wird.

Ich möchte nicht verfehlen, an dieser Stelle Herrn Prof. Proell für die Überlassung des Themas herzlich zu danken.

Ferner gebührt mein Dank den Herren Direktoren des Jotawerkes Gebrüder Funke, die mir in freundlicher Weise Material und Prüfmaschinen zur Verfügung stellten und mir, wie auch ihre engsten Mitarbeiter mit Rat und Tat zur Seite standen.

Literatur-Nachweis.

Deutsche Monatsschrift für Zahnärzte. 45 H. 19.

Deutsche Monatsschrift f. Z. 1922.

Dieck: Über methodische Prüfung der Silikatzemente.
Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift 1935 Nr. 33.

Fenchel: Amalgame, Herstellungs- Untersuchungs-, und Verarbeitungsmethoden.

Sterner-Rainer: Edelmetallegierungen und Amalgame in der Zahnheilkunde.

Witzel: Das Füllen der Zähne mit Amalgam.
Zahnärztliche Rundschau 1929 Nr. 5 S. 188.
„ „ 1931 Nr. 3 S. 102.
Zahnärztliche Rundschau 1935 Nr. 33.

Fenchel: Silbergehalt der Amalgame.

Lebenslauf.

Am 21. August 1909 wurde ich, Adolf Fasen, als Sohn des Hotelbesitzers Christof Fasen in Hillesheim geboren. Von 1915—1921 besuchte ich die Volksschule im Heimatort. Ostern 1921 kam ich auf die höhere Stadtschule in Kochem, von wo ich im Herbst 1923 nach Boppard übersiedelte. Hier absolvierte ich das humanistische Gymnasium und bestand Ostern 1932 die Reifeprüfung. Anschließend belegte ich an der Universität Bonn Zahnheilkunde, bestand im Mai 1934 das Physikum und Frühjahr 1936 das zahnärztliche Staatsexamen.